

Ю.Н.КОРЫТКО, канд.техн.наук, ст.преп., НТУ «ХПИ»

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТОЛСТОСТЕННОГО ЦИЛИНДРА АВТОКЛАВА ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО СИНТЕЗА

В статье представлены результаты проведенных расчетных исследований долговечности толстостенного цилиндра – одного из основных конструктивных элементов промышленных автоклавов. Промежуточные результаты сравниваются с экспериментальными данными. Получено значение циклов изменения термосиловой нагрузки до разрушения цилиндра.

The numerical results of long-term strength investigations of thick-walled cylinder – one of the main structural elements of technical autoclave, are described in the paper. The intermediate results were verified by comparison the computed and experimental data. The critical number of loading and heating cycles was obtained.

Актуальность темы. Многие элементы конструкций в энергетической, авиационной, транспортной, химической, атомной и других отраслях промышленности функционируют в условиях периодического изменения внешних температурно-силовых полей. Такие условия работы влияют на скорость и характер изменения напряженно-деформированного состояния при ползучести и, как следствие, на ресурс конструкции. В настоящее время предложены модели для описания ползучести и накопления повреждаемости в материале конструкций при циклическом изменении рабочих температур [1, 2]. Указанные модели, реализованные в современных программных средствах, позволяют проводить анализ конструктивных элементов и получать уточненные данные относительно ресурса конструкций. В работе представлены результаты исследований длительной прочности толстостенного цилиндра корпуса автоклава гидротермального синтеза. Промежуточные численные результаты сравнивались с экспериментальными данными, отличие между ними не превысило 10-12%, что позволило сделать вывод о корректности моделей исследования циклической термползучести.

Модель толстостенного цилиндра автоклава. Промышленные автоклавы используются для гидротермального синтеза минералов, таких как кварц, кальцит, цеолит и другие. Цилиндры автоклавов работают при высоких давлениях и температурах, необходимых для процесса гидротермального синтеза, в частности температура стенки сосуда достигает 450-500°C. Конструктивный элемент за весь период своей работы испытывает тысячи циклов нагружения и изменения температуры. При этом, согласно условиям работы автоклава, 9/10 времени толстостенный цилиндр находится под действием одновременно силового нагружения и неоднородного температурного поля, оставшуюся часть времени – только под действием силовой нагрузки.

Цилиндр автоклава гидротермального синтеза является толстостенным телом вращения, его объем составляет 1500 дм³, внутренний диаметр – 600 мм, толщина стенки – 225 мм, изготовлен из стали 25Х2МФА. Согласно данным работы [3], цилиндр находится под внутренним давлением $p=120$ МПа, нагружен давлениями на уплотнительной поверхности $p_1=234$ МПа и $p_2=130$ МПа, а также давлением от шпилек $p_3=200$ МПа. Для оценки влияния силового и температурного факторов на длительную прочность цилиндра проведены исследования отдельно для двух вариантов нагружения: воздействие только рабочих давлений (p, p_1, p_2, p_3) и совместное действие рабочих давлений и неоднородного температурного поля. Расчетная модель представлена на рисунке 1. Конечно-элементная модель построена в программе «Divider 2.6с» [4], модель содержит 10240 треугольных элементов, 5231 узел.

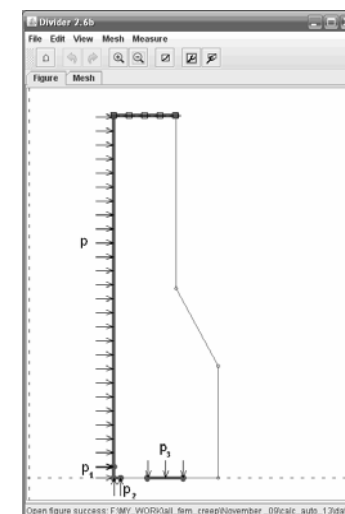


Рисунок 1 - Модель цилиндра автоклава

Расчетные исследования цилиндра автоклава. В результате проведения расчетных исследований напряженно-деформированного состояния построены эпюры осевых и окружных напряжений, соответствующие указанной конфигурации силовых нагрузок толстостенного цилиндра автоклава, а именно давления p, p_1, p_2, p_3 . Полученные графики представлены на рисунках 2, 3, на которых обозначено: кривая 1 – данные, полученные авторами работы [3], кривая 2 – значения, полученные с помощью программного комплекса для расчетов термоциклической ползучести, символами «х» отмечены экспериментальные данные. Рисунки 2, 3 свидетельствуют об удовлетворительном совпадении результатов расчетов и экспериментальных данных.

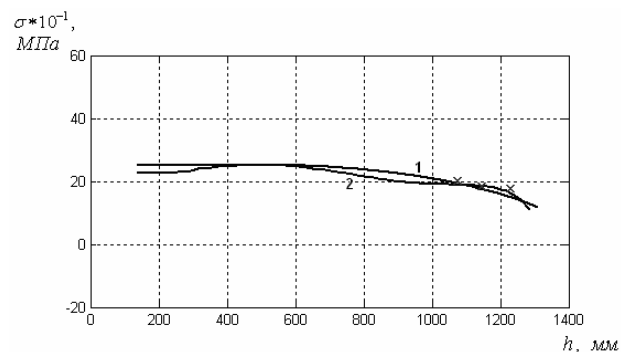


Рисунок 2 – Окружные напряжения в цилиндре автоклава

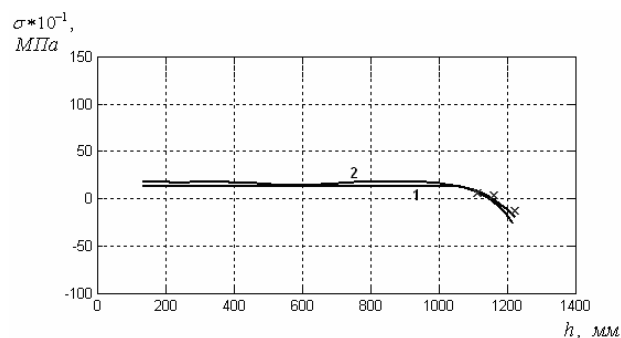


Рисунок 3 – Осевые напряжения в цилиндре автоклава

В рабочих условиях цилиндр находится также и под действием температурного поля, которое изменяется вдоль образующей цилиндра от 362°C внизу до 494°C возле крышки. График изменения температуры по высоте модели носит нелинейный характер и представлен на рисунке 4.

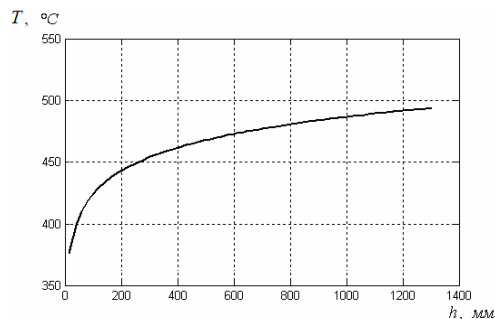


Рисунок 4 – График изменения температуры по высоте цилиндра

При совместном действии внутреннего давления, нагрузки на уплотнительной поверхности и нагрузки от шпилек, а также неравномерно распределенного по высоте цилиндра температурного поля распределение интенсивности напряжений в пределах упругости по сечению цилиндра имеет вид, представленный на рисунке 5.

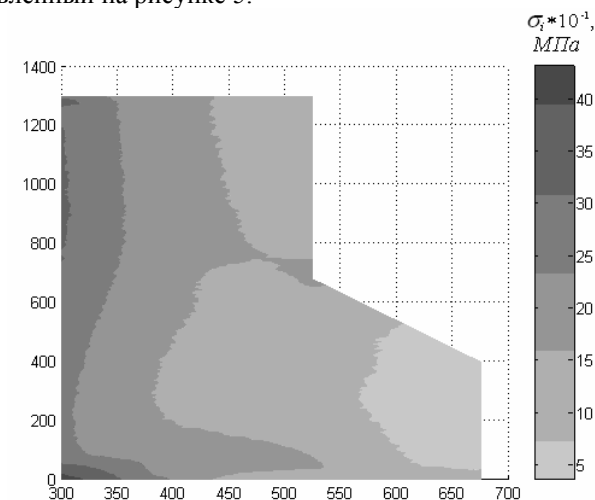


Рисунок 5 – Распределение интенсивности напряжений, вызванных силовыми и температурными нагрузками

Оценка длительной прочности. Циклическая долговечность автоклава гидротермального синтеза определяется долговечностью корпуса, а именно долговечностью толстостенного цилиндра. В современной практике проектирования используется нормативная документация, в которой описана методика оценки долговечности сосудов, функционирующих в условиях периодического изменения нагрузок, с помощью расчетных кривых усталости или специальных формул [3]. Однако, для низколегированных сталей, таких как сталь 25Х2МФА, из которой изготовлен толстостенный цилиндр автоклава, расчетные кривые и упомянутые специальные формулы можно использовать только при условии значения рабочей температуры не превышающей 350°C [3]. Поскольку в конкретных рассматриваемых условиях эксплуатации температура стенок цилиндра может повышаться до 400°C и выше, то для таких случаев необходимо проводить исследования, направленные на установление характеристик длительной прочности с учетом циклического характера изменения температуры в конструктивном элементе.

В работе [3] приведены данные испытаний стали 25Х2МФА, образцы для экспериментов были изготовлены из тех же заготовок, что и элементы автоклава. Приведенные в [3] экспериментальные данные позволили определить константы, необходимые для расчетов [5]. Авторы работы [3]

оценивали циклическую долговечность автоклава по максимальным напряжениям в цилиндре и амплитуде напряжений в цикле и получили количество циклов до разрушения, равное 45 000.

В работе проведены исследования ползучести и длительной прочности толстостенного цилиндра автоклава с помощью метода расчета долговечности при периодическом изменении температур и нагрузок [1, 2] и с использованием специального программного обеспечения [6]. Получено критическое количество циклов нагружения, при котором заканчивается процесс скрытого разрушения в цилиндре и возможно появление макродефектов. Это количество циклов составило 42 800 циклов. Полученные результаты хорошо согласовываются с данными, представленными в работе [3]. Отличие численных результатов не превышает 10%.

Выводы. На основе определения характеристик ползучести стали 25Х2МФА, в результате проведения комплексного анализа температурных полей и напряженно-деформированного состояния цилиндра автоклава, сделан вывод о том, что для рассматриваемых автоклавов гидротермального синтеза при рассмотренном режиме эксплуатации циклическая долговечность не превышает 43 000 циклов. Полученные результаты доказывают, что предложенная в [1, 2] методика анализа долговечности и остаточного ресурса при ползучести удовлетворительно описывает изменение характеристик длительной прочности элементов конструкций при периодическом изменении температуры с учетом особенностей термосилового нагружения.

Список литературы: 1. Бреславский Д.В. Ползучесть и повреждаемость при циклическом изменении температур и напряжений / *Д.В.Бреславский, Ю.Н.Корытко, О.К.Морачковский, О.А.Татарина* // Прочность материалов и элементов конструкций: труды международной научно-технической конференции, 28-30 сентября 2010 г. – К.: Ин-т проблем прочности им.Г.С.Писаренко НАН Украины. – 2011. – С. 185 – 192. 2. Бреславский Д.В. Модель циклічної термоповзучості для тіл обертання/ *Д.В.Бреславський, Ю.М.Коритко, О.К.Морачковський* // Проблеми прочності. – 2011. - №2. – С. 33 – 46. 3. Татарин В.Г. О циклической долговечности сосудов для гидротермального синтеза минералов под высоким давлением / *В.Г. Татарин, А.П. Корчагин, Л.М. Штеренлихт, Д.Т. Малова, С.Г. Татарина, Л.М. Лобова* // Сборник статей под ред. В.И. Мяченкова «Расчеты на прочность». – 1988. – С. 200 – 209. 4. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір. № 34779. Україна. Комп'ютерна програма «Divider 2.6с» : комп'ютерна програма / *Д.В. Бреславський, П.М. Лисак, Ю.М. Коритко*. – Дата реєстрації 2.09.2010. 5. Коритко Ю.М. Розробка методу розрахунку довговічності елементів конструкцій при періодичній зміні температур і навантажень: дис. ... канд.техн.наук: 05.02.09 / *Коритко Юлія Миколаївна*. – Харків, 2011. – 206 с. 6. Бреславский Д.В. Програмные средства для конечноэлементного моделирования двумерных задач теории ползучести / *Д.В. Бреславский, Ю.Н. Корытко, П.М. Лысак* // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». - 2007. - №38. – С. 24-29.

Поступила в редколлегию 13.10.2011